

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25891005

研究課題名(和文) 弱光環境下における光化学系Iサイクリック電子伝達の新たな生理学的役割

研究課題名(英文) New physiological role of cyclic electron transport through photosystem I under low light

研究代表者

矢守 航 (Yamori, Wataru)

千葉大学・環境健康フィールド科学センター・助教

研究者番号：90638363

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：植物は太陽から光エネルギーを吸収して、電子伝達経路において還元力(NADPH)や化学エネルギー(ATP)を合成する。そして、それらのNADPHやATPを利用して、二酸化炭素を固定し糖やデンプンを生産する。光合成における電子伝達経路には、リニア電子伝達経路と光化学系Iサイクリック電子伝達経路系が存在する。光化学系Iサイクリック電子伝達は半世紀以上前に発見されたが、その生理機能は不明のままであった。本研究結果によって、NDH複合体に依存する光化学系Iサイクリック電子伝達経路は弱光環境下における光合成電子伝達反応の最適化に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

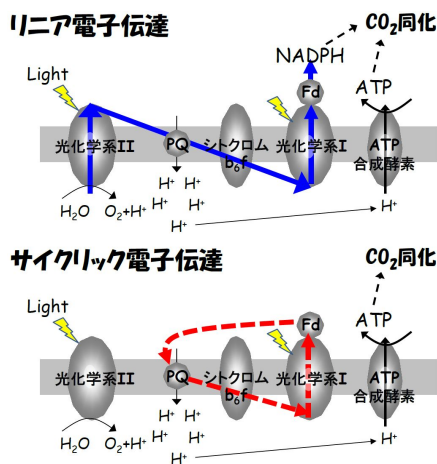
研究成果の概要(英文)：Cyclic electron transport through photosystem I was discovered more than a half-century ago, but its physiological function remains unclarified. The present study showed that cyclic electron transport through photosystem I via chloroplast NAD(P)H dehydrogenase (NDH) complex performs a significant physiological role during photosynthesis and plant growth at low light.

研究分野：植物生理生態学、植物分子生理学

キーワード：光合成 電子伝達 サイクリック電子伝達 環境応答 CO2同化

1. 研究開始当初の背景

植物は太陽から光エネルギーを吸収して、電子伝達経路において還元力(NADPH)や化学エネルギー(ATP)を合成する。そして、それらのNADPHやATPを利用して、CO₂を固定し糖やデンプンを生産する。光合成における電子伝達経路には、リニア電子伝達経路と光化学系Iサイクリック電子伝達経路が存在する(図1)。



(図1) 二つの光合成電子伝達経路：
リニア電子伝達とサイクリック電子伝達

リニア電子伝達経路はATPやNADPHを合成し、CO₂固定をはじめとする様々な代謝経路にそれらを供給する。一方で、サイクリック電子伝達経路では、NADPHは合成されずに、ATPのみが合成される。このサイクリック電子伝達経路にはNDH(NAD(P)H dehydrogenase)依存の経路と、FQR(ferredoxin plastoquinone reductase)依存の経路の二つがあることが知られている。

NDH依存サイクリック電子伝達経路は、分子情報が蓄積しており、高等植物における葉緑体NDH複合体は、4つのサブ複合体が光化学系Iと超複合体を形成していることがすでに明らかとなっている。高等植物がこれほど高度にNDH複合体を発達させてきたのには、進化上何らかの理由があると考えられる。これまでの先行研究では、NDH欠損タ

バコが強光ストレス、乾燥ストレス、そして、高温ストレスに感受性を示したことから、NDH依存経路がストレス環境下における葉緑体での過剰エネルギーの散逸に重要であると古くから考えられてきた。しかしながら、これらの先行研究では、過度な環境ストレスを加えたとしても、NDH欠損による光合成能力の減少は僅かであり、未だNDH依存経路の生理機能については不明のままである。

2. 研究の目的

自然界では、植物の受ける光環境は晴れ/曇りという天候の影響を直接受けるし、晴れの日であっても植物体同士の相互被陰によって一日を通して常に変動している。弱光環境では、植物成長そのものが抑制されてしまうが、一方で、強い光に曝されると、活性酸素の生成を介し光合成装置に障害を与えてしまい(光阻害)、場合によっては枯死してしまう。このような光阻害を回避するために、サイクリック電子伝達経路が機能し、過剰なエネルギーを散逸すると提案されている。しかしながら、申請者のイネを用いた研究から、サイクリック電子伝達経路は強光ストレスよりも弱光環境下における電子伝達反応の最適化に重要な役割を果たす可能性が出てきた(Yamori et al. 2012 *The Plant Journal* 68, 966-976)。つまり、従来の通説を大きく覆す可能性が出てきたと言える。そこで、本申請課題では、“弱光環境”に注目して、サイクリック電子伝達経路の新たな生理学的役割を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

植物材料として、野生イネ(*Oryza sativa* L. cv. Hitomebore)と、農林水産省のミュータントパネルから入手したNDH欠損変異体イネ(*Os08g7060*)を用いた。

植物を生育環境の制御が可能な人工気象室において、日長を12時間、相対湿度を

60%、栽培温度を 28/23°C (昼/夜)、光強度を 200 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (弱光)と 800 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (強光)の 2 段階に設定して栽培を行った。播種後 21 日目の段階で野生体と変異体の成長を揃え、弱光と強光の栽培光処理を開始した。これによって、発芽時のタイミングや成長の違いを排除することが可能となる。植物栽培 63 日目を目途に、完全展開葉を用いた光合成解析を行い、その後、植物個体の乾燥重量を測定することによって植物の成長解析を行った。

個葉レベルにおける光合成能力の評価法として、ガス交換解析による CO_2 同化速度の測定を基本に、クロロフィル蛍光による光化学系 II (PSII) 電子伝達速度や non-photochemical quenching (NPQ : チラコイド膜内外の ΔpH 形成の指標)の測定、そして、P-700 吸光解析による光化学系 I (PSI) の電子伝達速度の同時測定を行った。

4 . 研究成果

NDH 欠損変異体イネについては、PCR 法による Tos17 の挿入の確認とホモ個体の選抜を行った。また、クロロフィル蛍光測定とウェスタンブロッティング法によって NDH 依存サイクリック電子伝達経路が欠損していることを確認した。

野生イネと NDH 欠損変異体イネを弱光 (200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)と強光 (800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)の 2 つの光環境で栽培した。その結果、強光栽培時には、野生体と NDH 欠損変異体の二種間で成長量に差は無かったが、弱光栽培時には、NDH 欠損変異体において成長量が有意に低下することが分かった。詳細な光合成解析の結果、NDH 欠損変異体では、弱光下における光化学系 I サイクリック電子伝達活性が減少し、結果として、 CO_2 同化速度の減少および植物成長の低下を引き起こしていることが明らかとなった。

申請者の先行研究において、NDH 欠損

変異体イネでは、低温環境下において僅かながらも植物成長や光合成能力の低下をもたらしたことから、NDH 依存サイクリック電子伝達経路は低温環境下における光合成の最適化に重要な役割を果たすことを示した (Yamori et al. 2012 *The Plant Journal* 68, 966-976)。従って、NDH 依存サイクリック電子伝達経路は低温環境のみならず、弱光下における光合成の最適化に重要な役割を果たすことを示す。光合成研究は食糧とエネルギー不足および大気 CO_2 削減などの極めて重要な問題の解決に直結している。本研究成果は基礎研究としての高い成果に加えて、光合成効率向上のための技術基盤作りに確実に貢献すると考えられる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

1. Noguchi K*, Yamori W, Hikosaka K, Terashima I, Homeostasis of the temperature sensitivity of respiration over a range of growth temperatures indicated by a modified Arrhenius model, *New Phytologist*, 査読有, 2015, *in press*.
2. Way DA*, Yamori W, Thermal acclimation of photosynthesis: on the importance of definitions and accounting for thermal acclimation of respiration. *Photosynthesis Research*, 査読有, vol. 119, 2014, pp.89-100.
3. Yamori W*, Hikosaka K, Way DA, Temperature response of photosynthesis in C_3 , C_4 and CAM plants: Temperature acclimation and Temperature adaptation, *Photosynthesis Research*, 査読有, vol. 119, 2014, pp.101-117.
4. Yamori W*, Zhang G, Takagaki M, Maruo T, Feasibility study of rice growth

in plant factories, *Journal of Rice Research*, 査読有, vol. 2, 2014, pp.119.

5. Yamori W*, Improving Photosynthesis to Increase Food and Fuel Production by Biotechnological Strategies in Crops, *J Plant Biochem & Physiol*, 査読有, vol. 1, 2013, pp.113.

〔学会発表〕(計 5件)

1. Wataru Yamori, Eri Kondo, Yuji Suzuki, Amane Makino, The close relationship between leaf photosynthesis and crop yield: Analysis of transgenic rice with reduced content of cytochrome *b₆/f* complex, 日本植物生理学会, 2015年03月18日, 東京農業大学(東京)
2. Wataru Yamori, Regulation of CO₂ assimilation under a fluctuating light environment, 日本植物学会, 2014年09月12日, 明治大学(神奈川)
3. 矢守 航, 作物における光合成系の温度馴化機構の解明, 公益財団法人農学会, 2013年11月25日, 東京大学(東京)
4. 矢守 航, 光合成系の温度馴化メカニズムの包括的解明, 日本植物学会, 2013年09月13日, 北海道大学(北海道)
5. Danielle A. Way, Wataru Yamori, Thermal acclimation of photosynthesis: on the importance of adjusting our definitions and accounting for thermal acclimation of respiration, The 16th International Congress on Photosynthesis, 2013年08月11-6日 St. Louis, MO (USA).

〔図書〕(計 1件)

1. Yamori W.* (2015) Photosynthesis and respiration. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*, Elsevier (in

press).

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://wataruyamori.web.fc2.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

矢守 航 (YAMORI Wataru)

千葉大学・環境健康フィールド科学センタ

ー・助教

研究者番号: 90638363